

Pengaruh Penambahan Aluminium Terhadap Daya Adhesi dan Ketahanan Korosi Cat Epoksi

Syaiful Arif Wicaksono, Hosta Ardhyanta dan Agung Purniawan
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi
Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: agung_pur@mat-eng.its.ac.id

Abstrak— Dalam dunia industri, perlindungan terhadap korosi dengan cara memperlambat laju korosi pada material merupakan suatu hal yang penting. Salah satu metode yang sering digunakan ialah pelapisan. Sistem kerjanya ialah mencegah terjadinya kontak antara logam yang dilindungi dengan lingkungannya. Material substrat yang digunakan ialah baja SA 516 grade 70 yang sering digunakan dalam industri sebagai material untuk bejana tekan. Pada penelitian ini, baja dilapisi dengan cat Epoksi dengan variabel penambahan Aluminium sebesar 5%, 10% dan 15%.. Hasil pengujian menunjukkan perubahan pada propertis cat epoksi. Pengujian *Pull-Off* menunjukkan bahwa semakin bertambah kadar aluminium maka akan menurunkan Daya Adhesi cat. Ketahanan korosi meningkat seiring bertambahnya kadar aluminium yang diuji dengan metode *scratch* untuk *salt spray test* dan metode *unscratch* untuk pengujian *immers*. Pengujian Morfologi menggunakan SEM menunjukkan persebaran aluminium yang dianalisa menggunakan EDX. Daya Adhesi tertinggi dimiliki spesimen 0% dengan nilai 10,26 Mpa. Ketahanan korosi paling tinggi dimiliki spesimen dengan 15% yaitu *rating 9* untuk *salt spray test* dan *blister size no 10* untuk pengujian *immers*.

Kata Kunci : Cat Epoksi, Aluminium, Adhesi, Korosi,

I. PENDAHULUAN

Dalam dunia industri, perlindungan terhadap korosi dengan cara memperlambat laju korosi pada material merupakan suatu hal yang penting untuk dilakukan. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk melindungi logam dari serangan korosi. Metode yang banyak digunakan antara lain adalah proteksi katodik, penggunaan inhibitor, dan proteksi penghalang (*barrier protection*) [1]

Metode proteksi penghalang (*barrier protection*) yaitu membuat permukaan logam menjadi terpisah dari lingkungan korosif. Biasanya metode ini diaplikasikan dalam bentuk lapisan organik (*organic coating*). Metode ini merupakan metode perlindungan yang paling banyak digunakan dikarenakan metode ini mudah untuk dilakukan [2]. Selain itu, usia pakai dari lapisan organik juga cukup panjang dimana biaya yang dibutuhkan menjadi lebih sedikit dibandingkan dengan metode lainnya. Di Amerika perlindungan korosi menggunakan *organic coating* sebesar 89,5% dan menghabiskan biaya \$108 billion per tahun[3].

Epoksi adalah salah satu jenis *organic coating* yang sering digunakan dalam industri untuk melindungi baja dari

korosi. Kepadatan dan daya adhesi epoksi yang tinggi sangat memengaruhi ketahanan korosi pada baja yang dilapisinya [4]. Akan tetapi epoksi memiliki batasan waktu untuk melindungi baja tersebut sebelum terjadinya *failure*.

Organic dan *non-organic* pigmen seringkali ditambahkan pada *organic coating* untuk meningkatkan sifat tahan krosi dan *durability* dari *organic coating* tersebut. Salah satu jenis pigmen tersebut ialah Aluminium.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh penambahan aluminium terhadap kekuatan adhesi, ketahanan korosi dan morfologi material coating epoksi.

II. METODE PENELITIAN

A. Preparasi Substrat dan Cat

Pada penelitian ini substrat yang digunakan adalah baja karbon A516 dengan ketebalan 1,2 cm yang dipotong menjadi dimensi 3x4 cm sebanyak 36 buah yang akan digunakan sebagai spesimen uji daya adhesi dan spesimen uji ketahanan korosi. Dan dimensi 1x1 cm sebanyak 1 buah yang akan digunakan sebagai spesimen uji SEM-EDX. Pemotongan dilakukan dengan menggunakan mesin gerinda tangan.

Material cat epoksi yang digunakan pada penelitian ini adalah cat epoksi merk Jotun Penguard Primer berbahan resin poliamid dengan komponen A sebagai Resin dan Komponen B sebagai *Hardener*. Rasio pencampuran kedua komponen berturut-turut adalah 4:1, untuk 100 ml campuran berarti menggunakan 80ml komponen A dan 20ml komponen B. Sebelum proses pengadukan, dilakukan pencampuran antara material cat dengan variabel penambahan aluminium sebesar 5%, 10% dan 15% . Kemudian proses pengadukan dilakukan menggunakan alat *stirrer* dengan kecepatan 1000 *rpm* selama 30 menit [5].

Proses pengaplikasian cat pada permukaan substrat dilakukan dengan menggunakan *air spray* konvensional. Pengecatan dilakukan pada temperatur kamar. Tebal basah lapisan cat diukur agar tebal lapisan cat yang diaplikasikan untuk setiap spesimen sama tebalnya. Setelah itu, spesimen yang telah dicat dikeringkan (*curing*) pada temperatur kamar selama 7 hari.

B. Metode Pengujian

Pengujian daya adhesi dilakukan dengan menggunakan *pull-off test* yang sesuai dengan standar ASTM D-4541 untuk

mengetahui besar daya lekat cat epoksi masing – masing variabel pada permukaan substrat.

Pengujian ketahanan korosi dilakukan dengan metode *scratch* untuk *salt spray test* selama 122 jam [6] dan metode *immers* selama dua minggu, sehingga dapat diketahui seberapa besar ketahanan korosi masing-masing spesimen. Larutan NaCl 3.5% digunakan sebagai cairan elektrolit.

Morfologi permukaan dan sisi *interface* antara permukaan substrat dengan lapisan cat dianalisa menggunakan alat Mikroskop optik dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Alat SEM yang digunakan adalah mesin FEI Inspect S50. Pengujian *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDAX) dilakukan untuk mengetahui bentuk persebaran aluminium pada lapisan cat di sisi *interface* dan permukaan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Daya Adhesi

Besar daya adhesi lapisan cat didapat dengan menggunakan *Pull-Off Test* dalam besaran Mpa. Pengujian ini dilakukan dengan cara mencari DFT (*Dry Film Thickness*) sebesar ± 50 mikron pada tiga sampel setiap variabelnya dan kemudian hasil dirata-rata untuk setiap sampel. Hasil pengujian daya Adhesi dapat dilihat pada Tabel 1.

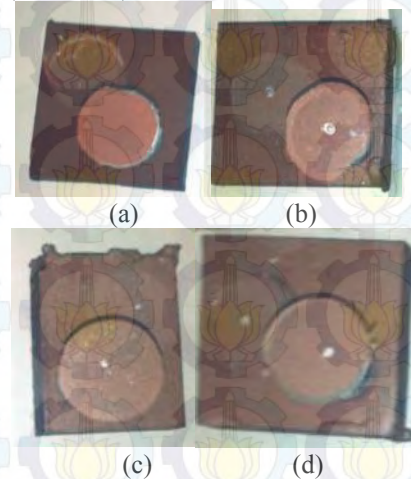
Tabel 1. Hasil Uji Daya Adhesi

No	Sampel	Daya Adhesi (Mpa)	Keterangan
1	Ep-Al (0%)	10,26	100% cohesive failure
2	Ep-Al (5%)	8,80	100% cohesive failure
3	Ep-Al (10%)	7,55	100% cohesive failure
4	Ep-Al (15%)	6,16	100% cohesive failure

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa daya adhesi paling tinggi dimiliki oleh sampel tanpa penambahan aluminium dengan nilai sebesar 10,26 Mpa, sedangkan sampel dengan penambahan aluminium 15% memiliki daya adhesi paling kecil dengan nilai 6,16 Mpa. Penurunan besar daya adhesi terjadi secara berurutan dimulai dari sampel penambahan aluminium sebesar 0%, 5%, 10% dan 15% berturut-turut sebesar 1,46 Mpa, 1,25 Mpa dan 1.36 Mpa.

Tren yang didapat dari tabel 1 menunjukkan bahwa semakin banyak aluminium yang ditambahkan pada epoksi, semakin kecil daya adhesi yang dimilikinya. Penurunan tersebut terjadi karena *Cohesive failure* (Ikatan cat-cat) bukan *adhesive failure* (Ikatan cat-substrat) yang berarti adanya penurunan kekuatan ikatan diantara molekul molekul yang terdapat dalam cat, dalam hal ini adalah epoksi-aluminium. Selain itu *cohesive failure* juga disebabkan karena aluminium menyebar merata di cat epoksi (Gambar 6), sehingga menghalangi ikatan yang terjadi antara epoksi-epoksi atau yang sering disebut *coating disbondment* [7]. Karena yang terjadi ialah *cohesive failure*, maka tidak memengaruhi kualitas *coating* tersebut, karena tidak adanya

adhesive failure atau masih adanya cat yang menempel pada substrat (Gambar 1).



Gambar 1 Hasil penampang dolly setelah *Pull Off test* (a) Ep-Al (0%), (b) Ep-Al (5%), (c) Ep-Al (10%), (d) Ep-Al (15%)

B. Pengujian Ketahanan Korosi

Pengujian ketahanan korosi dilakukan untuk mengetahui ketahanan korosi dari setiap *coating* dengan variabel penambahan aluminium. Pada penelitian ini digunakan dua metode untuk mengetahui ketahanan korosi dari *coating*, yaitu dengan metode *scratch* untuk *salt spray test* dan metode *unscratch* untuk *immers*.

Pada metode *scratch* untuk *salt spray test*, tiap spesimen digores berbentuk *x-cut* dengan pelebaran ± 1 mm, kemudian ditempatkan pada salt spray chamber sambil disemprotkan larutan NaCl 3,5% selama 122 jam, kemudian dilakukan pengukuran pelebaran goresan yang terjadi di lima titik setiap spesimen yang diujikan dengan *measuring microscope* (Gambar 2). Kemudian hasil dari pelebaran di lima titik tersebut di rata-ratakan. Sehingga didapatkan data rata rata pada setiap variabel dan hal ini dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 3

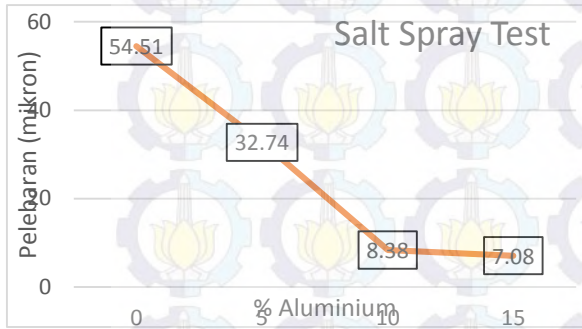


Gambar 2 Pengukuran pelebaran goresan sebelum dan sesudah menggunakan *measuring microscope*

Tabel 2 Data pelebaran hasil metode *scratch* untuk salt spray test

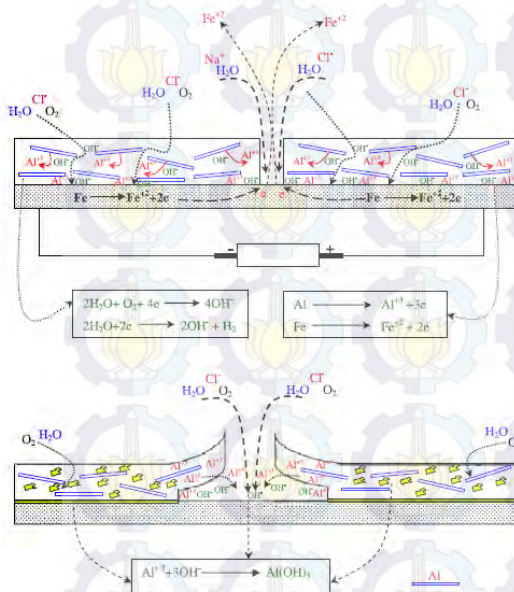
No	Sampel	Pelebaran (Mikron)
1	Ep-Al (0%)	54,51
2	Ep-Al (5%)	32,74
3	Ep-Al (10%)	8,38
4	Ep-Al (15%)	7,08

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa pelebaran yang paling sedikit dimiliki oleh cat epoksi dengan variabel penambahan aluminium sebesar 15% dengan nilai pelebaran sebesar 7,08 mikron sedangkan pelebaran yang terbesar terjadi pada cat epoksi tanpa penambahan aluminium dengan nilai pelebaran sebesar 54,51 mikron, dan untuk sampel dengan variabel penambahan aluminium 5% dan 10% masing masing mendapatkan pelebaran goresan sebesar 32,74 mikron dan 8,38 mikron.



Gambar 3. Grafik pelebaran hasil metode *scratch* untuk salt spray test

Pada Gambar 3 didapatkan tren yang menunjukkan bahwa tanpa penambahan aluminium pelebaran epoksi lebih besar dibandingkan dengan penambahan aluminium. Hal ini disebabkan epoksi memiliki sifat hidrofilik, dimana membuat lapisan menjadi mudah bereaksi dengan air. Sifat hidrofilik yang dimiliki oleh lapisan epoksi ini dapat menurunkan kemampuannya dalam melindungi logam. Akan tetapi dengan penambahan aluminium, pelebaran yang terjadi lebih sedikit hal ini dikarenakan elektrolit yang masuk pada goresan akan bereaksi terlebih dulu dengan aluminium untuk membentuk lapisan $\text{Al}(\text{OH})_3$ sehingga selanjutnya elektrolit yang masuk lewat goresan untuk melebarkan goresan tersebut akan terhalang oleh lapisan $\text{Al}(\text{OH})_3$ (Gambar 4)



Gambar 4 Skema pelebaran cat dan terbentuknya lapisan pada epoksi yang ditambahkan aluminium[5]

Data hasil pelebaran yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan data yang ada di standard ASTM D1654 (Tabel 3). Hal ini dilakukan untuk menentukan besar tingkatan (*rating*) pelebaran goresan yang terjadi. Menurut standard ASTM D 1654 “*Standard Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments*”, dijelaskan beberapa tingkatan (*rating*) untuk menunjukkan tingkat korosifitas atau ketahanan korosi sampel, dimana semakin tinggi tingkatnya (*rating*), semakin rendah tingkat korosifitas atau semakin tinggi ketahanan korosi sampel tersebut.

Tabel 3 Data pelebaran hasil metode *scratch* untuk salt spray test beserta tingkatannya

No	Sampel	Pelebaran (Mikron)	Pelebaran (mm)	Nilai
1	Ep-Al (0%)	54.51	0,054	9
2	Ep-Al (5%)	32.74	0,032	9
3	Ep-Al (10%)	8.38	0,008	9
4	Ep-Al (15%)	7.08	0,007	9

Dari standard ASTM D1654 diketahui apabila pelebaran yang terjadi sebesar 0-0,5 mm maka memiliki nilai *rating* 9. Terlihat pada Tabel 3 bahwa pelebaran yang terjadi pada semua sampel tidak melebihi 0,5 mm bahkan pelebaran yang paling besar yang terjadi sebesar 0,054 mm yaitu pada sampel tanpa penambahan aluminium.

Oleh sebab itu dapat dikatakan bahwa semua sampel memiliki nilai 9 untuk ketahanan korosi, sehingga dapat dikatakan bahwa kemampuan semua sampel untuk menahan terjadinya korosi itu sama.

Sedangkan untuk pengujian *immers* dengan metode *unscratch*, setiap spesimen direndam dengan larutan NaCl 3,5% selama 2 minggu, terlihat bahwa pada sampel tanpa penambahan aluminium dan sampel dengan penambahan aluminium 5% terdapat *blister* dengan jenis *osmotic blistering* pada permukaan sampel, dimana hal ini tidak terjadi pada sampel dengan variabel penambahan aluminium sebesar 10% dan 15% (Gambar 7).

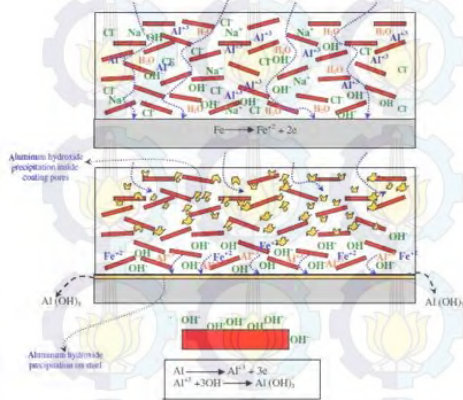
Osmotic blistering terjadi karena adanya garam atau elektrolit yang berada pada permukaan, akan tetapi garam sulit menembus *coating* karena ukuran fisik dan fakta bahwa sifatnya yang ionik menyebabkan tidak kompatibel dengan polimer organik penyusun *coating*, dan hal ini akan berubah ketika garam tersebut larut dalam air (elektrolit), karena air sendiri merupakan molekul kecil yang dapat mengalami permeasi melalui *coating* dengan kecepatan yang berbeda pada tiap *coating*. Elektrolit yang sudah masuk ke dalam *coating* dan melakukan kontak dengan *coating* untuk melarutkan garam yang terkandung dalam air tersebut ke dalam *coating*. Jika elektrolit tersebut juga berada pada permukaan luar *coating* maka sel osmosis akan terjadi juga.

Sel osmosis tersusun atas membran semipermeable (dalam hal ini *coating*) yang memisahkan larutan konsentrasi tinggi dengan konsentrasi rendah. Karena ada perbedaan potensial kimia maka akan lebih banyak elektrolit yang mengalami permeasi ke dalam *coating*. Konsekuensinya adalah terbentuknya *blister* yang terisi elektrolit.

Oleh sebab itu epoksi yang tidak ditambahkan aluminium akan mudah terserang oleh elektrolit dibanding dengan epoksi yang ditambahkan aluminium. Hal ini dikarenakan aluminium itu sendiri memiliki pigmen yang berbentuk flake sehingga dapat memperlambat laju permeability elektrolit didalam *coating* (Gambar 5). Selain itu, aluminium juga sangat reaktif, sehingga elektrolit yang laju permeabilitynya di perlambat, juga akan bereaksi dengan aluminium dan membuat senyawa $\text{Al}(\text{OH})_3$ (Gambar 4.7) dengan reaksi sebagai berikut:



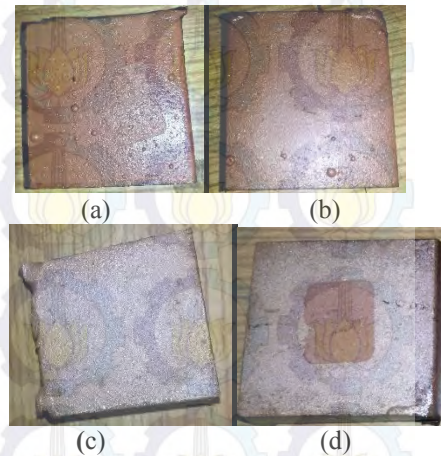
Oleh sebab itu epoksi yang ditambahkan dengan aluminium terdapat sedikit bahkan tidak ada *blister* pada permukaannya.



Gambar 5 Skema masuknya elektrolit kedalam *coating* dan bereaksi dengan aluminium [5]

Untuk mengetahui tingkat kerusakan yang dapat ditimbulkan oleh *blister* dapat dilakukan dengan cara mengukur tingkat *blister* yang terjadi yang kemudian dibandingkan dengan standard ASTM D714 “Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering of Paints”. Menurut standard dikatakan bahwa terdapat beberapa tingkatan ukuran dan jumlah *blister* yang ada. Tingkatan ukuran *blister* sendiri dimulai dari skala sepuluh hingga nol dimana pada ukuran sepuluh menandakan tidak adanya *blister* pada permukaan. Kemudian untuk tingkatan jumlah *blister* ditandai mulai dari *few* (sedikit), *medium* (sedang), *medium dense* (cukup banyak) hingga *dense* (banyak).

Seperti yang dijelaskan diatas, bahwa untuk mengetahui tingkat kerusakan yang ditimbulkan dengan adanya *blister*, maka perlu adanya perbandingan Gambar 6 yang merupakan hasil pengujian *immers* selama dua minggu dengan standard ASTM D714 (Tabel 4).



Gambar 6 Hasil pengujian *immers* selama dua minggu (a) Ep-Al (0%), (b) Ep-Al (5%), (c) Ep-Al (10%), (d) Ep-Al (15%)

Tabel 4 Data Tingkatan *blister* tiap spesimen

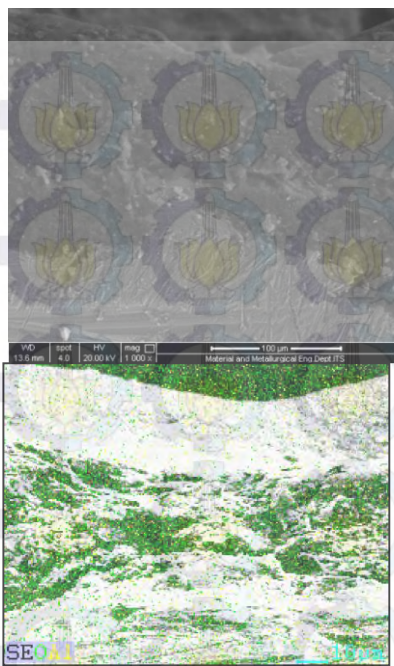
No	Sampel	Tingkatan <i>Blister</i>
1	Ep-Al (0%)	<i>Blister</i> Size No 2 (Few)
2	Ep-Al (5%)	<i>Blister</i> Size No 4 (Few)
3	Ep-Al (10%)	<i>Blister</i> Size No 8 (Few)
4	Ep-Al (15%)	<i>Blister</i> Size No 10

Dari Tabel 4 dapat diketahui bahwa sampel dengan penambahan aluminium 15% tidak terdapat *blister* di permukaannya, dan hal ini berbanding jauh dengan sampel epoksi tanpa penambahan yang memiliki ukuran *blister* No 2 dengan jumlah *blister* sedikit.

Dari dua metode pengujian yang telah dilakukan yaitu pengujian *salt spray* dengan metode *scratch* dan *immers* dengan metode *unscratch* dapat dikatakan bahwa sampel dengan variabel penambahan aluminium sebesar 10% dan 15% memiliki ketahanan korosi yang sangat baik. Hal ini dikarenakan kandungan aluminium yang cukup dalam epoksi untuk memperlambat laju permeability elektrolit kedalam *coating* dan kemampuan aluminium bereaksi dengan elektrolit yang masuk kedalam *coating* untuk membentuk lapisan pasif.

C. Pengamatan Mikro

Pengamatan mikro pada sisi *interface* antara substrat dengan *coating* menggunakan SEM dan didukung dengan program *mapping* EDX untuk melihat persebaran aluminium didalam *coating* sehingga dapat mendukung analisa data dan pembahasan pada sub bab sebelumnya (Gambar 7). Perbesaran yang dilakukan saat pengujian SEM kali ini sebesar 1000X.



Gambar 7 Hasil uji SEM-EDX sampel dengan penambahan Aluminium

Dari hasil uji SEM-EDX didapatkan bahwa persebaran aluminium merata di dalam epoksi. Hal ini sangat mendukung dari pernyataan bahwa dengan persebaran Aluminium yang merata pada *coating* akan memperlambat *permeability* dari elektrolit masuk kedalam *coating* menuju substrat selain itu hal ini juga mendukung terjadinya *coating disbondment*, dimana aluminium menghalangi ikatan antara epoksi-epoksi sehingga membentuk poros yang terlihat jelas pada gambar 7.

IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisa hasil pengujian, maka dapat diambil suatu kesimpulan dari penelitian ini. Berikut kesimpulan yang didapat:

1. Dari pengujian daya adhesi menggunakan *Pull off test* didapatkan hasil berupa penurunan nilai dengan variabel penambahan aluminium 0%, 5%, 10% dan 15% sebesar 10,26 Mpa, 8,80 Mpa, 7,55 Mpa dan 6,16 Mpa. Jenis kegagalan yang didapatkan ketika pengujian daya adhesi adalah 100% *cohesive failure* (ikatan cat-cat).
2. Untuk menganalisa ketahanan korosi dari sampel dengan variabel penambahan aluminium 0%, 5%, 10% dan 15% digunakan dua metode yaitu *scratch* untuk salt spray test dan *unscratch* untuk immers. Pada pengujian *salt spray test* dengan metode *scratch* selama 122 jam didapatkan pelebaran goresan yang kemudian dicocokkan dengan ASTM D1654 dan menghasilkan semua sampel memiliki nilai rating 9. Sedangkan untuk metode *unscratch* dengan pengujian immers selama 2 minggu dan dicocokkan dengan ASTM D714 didapatkan hasil sebagai berikut: Sampel tanpa penambahan epoksi mendapatkan Blister Size no 2 (*Few*), Sampel

dengan penambahan aluminium 5% mendapatkan Blister Size no 4 (*Few*), Sampel dengan penambahan aluminium 10% mendapatkan Blister Size no 8 (*Few*) dan Sampel dengan penambahan aluminium 15% mendapatkan Blister Size No 10 (tidak ada blister). Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin banyak aluminium yang ditambahkan semakin besar ketahanan korosi *coating* tersebut.

3. Pengujian mikro dan makro menggunakan tiga cara yaitu visual, mikroskop optik dan SEM-EDX. Pada pengamatan visual didapatkan perubahan warna yang cerah pada *coating* yang ditambahkan aluminium, sedangkan pada pengamatan mikroskop optik didapatkan persebaran aluminium yang merata pada permukaan *coating* menyebabkan warna *coating* tersebut menjadi cerah. Sedangkan pada pengujian SEM-EDX didapatkan hasil persebaran aluminium yang merata didalam *coating*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Forsgren, Amy. 2006. **Corrosion Control through Organic Coatings**. US: Taylor & Francis Group.
- [2] Keijman, J.M. 1999. "Achieving Quality in Coatings Work: The 21st Century Challenge". **Proceeding Inorganic and Organic Coatings – The Difference**. England: The Brighton Centre.
- [3] ASCOATINDO. (2014). **Coating Inspector Muda**. Bandung: Suparsih, Tri H. S., dan M. Zainuri. 2013. "Sintesis Silika dari Pasir Alam Tuban". Surabaya: Jurusan Fisika Fakultas MIPA ITS Surabaya.
- [4] J. Havlik., A. Kalendova., dan D. Vesely. 2007. "Electrochemical, chemical and barrier action of zinc dust/anticorrosive pigments containing coatings". **J. Phys. Chem. Solids**, 68: 1101-1105
- [5] Nikravesb, B., Ramezanazach, B., Sarabi, A.A., dan Kasiriha, S.M. 2011. "Evaluation of the corrosion resistance of an epoxy-polyamide coating containing different ratios of micaceous iron oxide/Al pigments". **Corrosion Science**, 53: 1592-1603
- [6] Rodriguez, M.T., Garcia, S.J., Gracenea, J.J., Vitores, C., dan Suay, J.J. 2007. "Thermal, Mechanical, and Anticorrosive Characterization of an Epoxy Primer". **Corrosion** 63, 12: 1075-1084.
- [7] Knudsen, Ole Øystein. (1998) Cathodic disbonding of organic coatings on submerged steel. 1998. ISBN 82-471-0226-9.